



高职高专电子信息类“十二五”规划教材

单片机原理与应用技术

张玉馥 李庆辉 主 编
胡 颖 吴 尚 徐长思 副主编



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高职高专电子信息类“十二五”规划教材

单片机原理与应用技术

张玉馥 李庆辉 主 编

胡 颖 吴 尚 徐长思 副主编

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书较全面、系统地介绍了单片机的原理与应用技术。全书共分九章,内容包括微型计算机系统基本知识、80C51 单片机内部结构和工作原理、MCS-51 单片机指令系统及程序设计、MCS-51 单片机 Cx51 语言概述和程序设计、中断系统和定时器/计数器、串行通信、MCS-51 单片机系统扩展技术、显示器及键盘接口电路以及单片机应用系统设计。

本书可作为高职高专院校相关专业的教材,也可作为单片机汇编语言程序设计师和单片机 C 语言程序设计师的职业技能考核以及全国大学生电子设计竞赛培训的参考书,还可作为单片机应用系统开发技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理与应用技术/张玉馥,李庆辉主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2012.10

高职高专电子信息类“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2865-3

I. ① 单… II. ① 张… ② 李… III. ① 单片微型计算机—高等职业教育—教材

IV. ① TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 160400 号

策 划 陈 婷

责任编辑 南 景 陈 婷

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西光大印务有限责任公司

版 次 2012 年 10 月第 1 版 2012 年 10 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 22

字 数 522 千字

印 数 1~3000 册

定 价 33.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2865 - 3/TP · 1354

XDUP 3157001-1

如有印装问题可调换

前 言

目前,单片微型计算机(简称单片机)已广泛应用到仪器仪表、家用电器、医用设备、航空航天设备及各种专用设备的智能化管理及过程控制等领域。因此,掌握单片机的开发与应用技术具有十分重要的意义。高等职业教育的目标是面向企业生产一线培养具有工程师素质和技师技能的高素质应用型技术人才。在学习单片机应用技术时,不仅要求掌握单片机的基本原理,而且还要学习相关技术知识,使学生具有较强的单片机硬件设计能力和软件开发能力。

针对这一目标,并立足于培养学生的单片机应用技术的软硬件设计能力,编者根据多年的教学与科研经验的积累编写了本书。本书将单片机的C语言与汇编语言融为一体进行对比讲述,使学生灵活掌握单片机系统开发软件的技巧。本书在编写上突破了过多讲解理论的传统思路,而把重点放在单片机应用系统的开发设计技能的培养上,在每一章的后面都设置了实训内容,便于学生对本章所讲解的理论内容的掌握。本书可以与主编辑写的《单片机的C语言应用程序设计实训教程》一书配套使用,提高学生的单片机的软件设计能力。

全书共分为九章。第一章介绍了微型计算机系统基本知识;第二章主要介绍了80C51单片机内部结构和工作原理;第三章介绍了MCS-51单片机指令系统及程序设计;第四章介绍了MCS-51系列单片机C语言概述和程序设计;第五章介绍了中断系统及定时器/计数器;第六章介绍了串行通信;第七章介绍了MCS-51单片机系统扩展技术;第八章介绍了显示器及键盘接口电路;第九章介绍了单片机应用系统设计。每一章的最后都安排了实训内容,便于学生掌握该章讲解的理论知识。

本书由张玉馥、李庆辉担任主编,胡颖、吴尚、徐长思担任副主编。张玉馥编写了第四、八章,实训一~实训四;李庆辉编写了第三、五、七章;胡颖编写了第六、九章;吴尚编写了第一、二章;徐长思编写了实训五~实训八。本书在编写时参考了国内外许多单片机原理及接口技术相关书刊和资料,在此向所有作者表示感谢!

编者力求将本书编写为一本学生易学、教师愿意选用的教材,也希望本书能对单片机应用技术爱好者的学习、开发与应用起到一定的促进作用。但由于时间仓促,加之编者的水平有限,书中难免有不妥之处,敬请广大读者批评指正(编者E-mail:ykdxidianzi@163.com)。

编 者

2012年4月

目 录

第一章 微型计算机系统基本知识	1	2.2.2 外部数据存储器 RAM	39
1.1 概述	1	2.2.3 内部数据存储器 RAM	40
1.1.1 微型计算机	2	2.2.4 MCS-51 系列单片机的特殊功能寄存器	42
1.1.2 计算机发展概况	3	2.3 MCS-51 系列单片机的并行端口结构与操作	45
1.1.3 单片机发展概述	4	2.3.1 P0 口	45
1.1.4 单片机的特点和应用	6	2.3.2 P1 口	46
1.1.5 单片机技术的发展趋势	6	2.3.3 P2 口	47
1.2 单片机系统的组成	8	2.3.4 P3 口	48
1.2.1 微处理器 CPU	8	2.3.5 并行端口的负载能力	49
1.2.2 存储器	9	2.4 时钟和时序	49
1.2.3 输入/输出设备及其接口电路	10	2.4.1 时钟电路	50
1.2.4 单片机系统的软件	10	2.4.2 时钟周期和机器周期	50
1.3 单片机中数的表示方法及运算	10	2.4.3 MCS-51 系列单片机的取指令和执行指令时序	51
1.3.1 二进制数、十进制数和十六进制数	11	2.4.4 读外 ROM 时序	52
1.3.2 数制转换	12	2.4.5 读/写外 RAM 时序	53
1.3.3 二进制数和十六进制数的运算	15	2.5 复位和低功耗方式	54
1.3.4 原码、反码和补码	17	2.5.1 复位方式	54
1.4 常用编码	19	2.5.2 低功耗方式	55
1.4.1 8421 BCD 码	19	2.6 ATMEL89 系列单片机	56
1.4.2 校验码	21	2.6.1 AT89C51 系列单片机	58
1.4.3 ASCII 码	21	2.6.2 AT89C2051 系列单片机	59
1.5 习题	23	2.7 习题	60
实训一 单片机开发系统及其 Keil Cx51 软件应用	25	实训二 Keil Cx51 软件中调试窗口的使用	61
第二章 80C51 单片机内部结构和工作原理	34	第三章 MCS-51 单片机指令系统及程序设计	67
2.1 内部结构和引脚功能	34	3.1 单片机指令基础	67
2.1.1 内部结构	35	3.1.1 指令格式	67
2.1.2 引脚功能	36	3.1.2 指令分类	68
2.2 存储空间配置和功能	38		
2.2.1 程序存储器 ROM	39		

3.1.3 指令系统中的符号约定	69
3.2 寻址方式	69
3.3 指令系统	73
3.3.1 数据传送类指令	73
3.3.2 算术运算类指令	83
3.3.3 逻辑运算及移位指令	89
3.3.4 位操作类指令	94
3.3.5 控制转移类指令	96
3.4 汇编语言程序设计基础	102
3.4.1 汇编语言及其语句结构	102
3.4.2 伪指令	103
3.4.3 汇编	104
3.4.4 程序设计的基本方法	105
3.5 程序设计	106
3.5.1 顺序程序设计	107
3.5.2 分支程序设计	107
3.5.3 循环程序设计	111
3.5.4 子程序设计	115
3.5.5 查表程序设计	116
3.5.6 散转程序设计	118
3.5.7 数据查找程序设计	119
3.6 习题	121
实训三 单片机输入/出口的设计与使用	125
实训 3.1 P1 口输入/输出	125
实训 3.2 循环程序设计	127
实训 3.3 交通灯控制	129

第四章 MCS-51 单片机 Cx51 语言 概述和程序设计

4.1 C 与 80C51	133
4.1.1 80C51 的编程语言	133
4.1.2 Cx51 程序结构	133
4.1.3 Keil Cx51 编程实例	134
4.2 Cx51 数据与运算	137
4.2.1 数据与数据类型	137
4.2.2 常量与变量	138
4.2.3 Cx51 数据的存储类型与 8051 存储器结构	141

4.2.4 Cx51 对 8051 系列特殊功能寄存器、 并行接口、位变量的定义	142
4.2.5 Cx51 运算符、表达式及其规则	145
4.3 Cx51 流程控制语句	151
4.3.1 Cx51 语言程序的顺序结构及其 流程图	151
4.3.2 Cx51 语言程序的选择结构及其 流程图	152
4.3.3 Cx51 语言程序的循环结构及其 流程图	155
4.4 Cx51 构造数据类型	158
4.4.1 数组	158
4.4.2 指针	161
4.5 Cx51 的函数、变量的作用域和 存储类型	163
4.6 Cx51 语言程序设计	167
4.7 程序设计举例	168
4.7.1 顺序程序	168
4.7.2 选择程序	168
4.7.3 循环程序	169
4.8 习题	169
实训四 简单的单片机 Cx51 语言 程序设计	174

第五章 中断系统和定时器/计数器

5.1 MCS-51 中断系统	182
5.1.1 中断概述	182
5.1.2 中断系统结构	184
5.1.3 中断处理过程	186
5.1.4 中断响应等待时间	188
5.1.5 中断请求的撤除	188
5.1.6 中断系统的应用	189
5.2 MCS-51 定时器/计数器	191
5.2.1 定时器/计数器概述	191
5.2.2 定时器/计数器的控制寄存器	192
5.2.3 定时器/计数器的工作方式	193
5.2.4 定时器/计数器的应用	194
5.3 习题	200

实训五 中断系统和定时器/计数器的 设计与使用	201	7.7 串行扩展技术	255
实训 5.1 定时器(循环彩灯控制)	201	7.8 习题	256
实训 5.2 数码显示	203	实训七 MCS-51 单片机系统扩展	257
第六章 串行通信	207	实训 7.1 I/O 口扩展	257
6.1 串行通信	207	实训 7.2 8255A 可编程并行接口	259
6.1.1 异步通信和同步通信	208	第八章 显示器及键盘接口电路	261
6.1.2 串行通信的数据传送模式	209	8.1 显示器及其接口	261
6.1.3 信号的调制与解调	209	8.1.1 LED 数码管	261
6.1.4 串行通信的校验	210	8.1.2 LED 数码管静态显示方式及其 典型应用电路	263
6.1.5 波特率	210	8.1.3 LED 数码管动态显示方式及其 典型应用电路	266
6.2 80C51 串行口	211	8.1.4 LCD 及其接口原理	269
6.2.1 串行口特殊功能寄存器	211	8.2 键盘接口	270
6.2.2 串行口的控制寄存器	213	8.2.1 按键开关的抖动问题	270
6.2.3 串行工作方式	214	8.2.2 键盘扫描控制方式	271
6.3 多机通信	221	8.2.3 按键键盘与单片机的连接	273
6.3.1 多机通信原理	221	8.3 A/D 转换接口电路	282
6.3.2 多机通信应用举例	222	8.3.1 A/D 转换的基本概念	282
6.4 习题	227	8.3.2 并行 A/D 转换器 ADC0809 及其 接口电路	284
实训六 串行通信应用	229	8.4 D/A 转换器及其单片机接口电路	291
第七章 MCS-51 单片机系统扩展 技术	234	8.4.1 D/A 转换	291
7.1 单片机并行扩展总线	234	8.4.2 D/A 转换芯片及其单片机接口	292
7.1.1 三总线扩展连接	235	8.5 习题	299
7.1.2 地址空间分配	236	实训八 显示器及键盘接口电路设计实训	301
7.1.3 外部地址锁存器	238	第九章 单片机应用系统设计	309
7.2 并行扩展外 ROM	239	9.1 单片机应用系统的设计过程与方法	309
7.2.1 并行扩展程序存储器 EPROM	240	9.1.1 单片机应用系统设计的基本要求	309
7.2.2 并行扩展 E ² PROM	244	9.1.2 单片机应用系统设计的一般方法	310
7.3 并行扩展外 RAM	245	9.1.3 单片机应用系统的调试	313
7.4 单片机系统综合扩展外 ROM 和 RAM	247	9.1.4 提高单片机应用系统可靠性的 常用方法	315
7.5 简单并行 I/O 口的扩展	248	9.2 单片机应用系统设计实例	317
7.5.1 输入口扩展	248	9.2.1 交通信号灯控制系统的设计	317
7.5.2 输出口扩展	249	9.2.2 基于 CANBUS 的火灾自动报警 控制系统设计	322
7.5.3 总线扩展驱动	251		
7.6 可编程并行 I/O 口扩展	252		



第一章



微型计算机系统基本知识

内容提要

本章主要讲解微型计算机和单片机的概念及发展历史、单片机系统的组成、计算机中数的表示方法和含义以及单片机中常用的编码(BCD 码、ASCII 码)。

学习目标

- (1) 熟练掌握微型计算机和单片机的概念、微处理器的概念、总线的概念、存储器的概念和分类、存储器的结构和操作、十进制数的表示方法、二进制数的表示方法和运算、十六进制数的表示方法和运算。
- (2) 掌握二进制数和十六进制数与十进制数间的相互转换。
- (3) 掌握二进制编码、符号数的补码表示、补码运算。
- (4) 掌握微型计算机系统的组成, 理解微型计算机的基本工作过程。
- (5) 了解单片机的发展、特点和应用。
- (6) 掌握单片机中的常用编码、输入/输出设备及其接口电路、单片机系统的软件。

1.1 概 述

微型计算机的问世彻底改变了人类的生活, 并开创了信息时代。它是人类一项伟大的创举, 也是最伟大的发明之一。

自 1946 年美国宾夕法尼亚大学埃克特等人研制成功第一台电子计算机之后, 经历了半个多世纪的发展, 计算机已经广泛应用到科学研究、工程设计、军事技术、航空航天技术、商业文化艺术、娱乐业和家用电器等方面。

1946 年, 为了满足快速运算的要求, 第一台电子计算机“ENIAC(埃尼阿克)”问世了。它长 30.48 m, 宽 1 m, 有 30 个操作台, 占地面积 170 m², 相当于 10 间普通房间的大小, 重达 30 t, 耗电量 150 kW, 造价 48 万美元。它包含了 17 468 个真空管、7200 个二极管、70 000 个电阻器、10 000 个电容器、1500 个继电器、6000 多个开关, 每秒执行 5000 次加法或 400 次乘法, 运算速度是继电器计算机的 1000 倍, 手工计算的 20 万倍。它第一次用电子线路实现运算。如果用当时最快的机电式计算机做 40 点弹道计算, 需要 2 h, 而用



“ENIAC”只要 3 s,这在当时的确已是了不起的成绩。然而“ENIAC”还不完善,实际上它没有存储器,只有用电子管做的寄存器,仅仅能寄存 10 个数码。当需要换算别的题目时,需要重新焊接连线,很费时间。

1.1.1 微型计算机

随着半导体技术的不断发展和成熟,集成电路的集成度越来越高。正是因为这种技术的成熟,Intel 公司在 1971 年 11 月成功地把计算机的运算器、控制器等核心部件集成在一个集成电路芯片上,制成了世界上第一片中央处理芯片——微处理器 Intel 4004。1974 年,罗伯茨用 8080 微处理器装配了一种专供业余爱好者试验用的计算机“牛郎星”(Altair)。1976 年,乔布斯和沃兹尼克成功设计了第一台真正意义上的微型计算机。它装在一个木盒子里,有一块较大的电路板,8 KB 的存储器,能发声,且可以显示高分辨率图形。1977 年,沃兹尼克设计了世界上第一台真正的个人计算机——Apple II。

利用同样的集成电路技术也可将存储程序和数据的存储器进行高度集成,制造出微型存储器,这样,存储器、输入/输出接口电路和 CPU 就构成了微型计算机(Micro Computer, MC)。图 1-1 是微型计算机的基本组成框图。

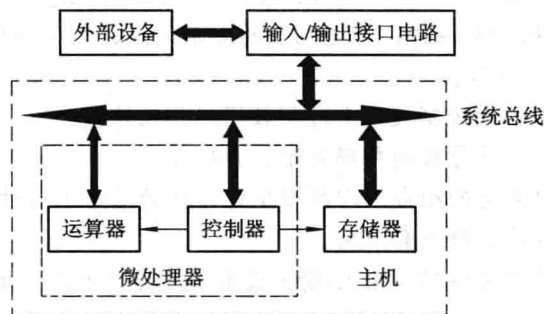


图 1-1 微型计算机的基本组成框图

如果将中央处理器、存储器、定时器/计数器、输入/输出接口等都集成在一块集成电路芯片上,这样的微型计算机称为单片微型计算机,简称单片机。它与微处理器相比,更加强调自供应(即不用外接硬件)和节约成本。单片机的最大优点是体积小、功耗低、价格低廉且可开发性强,但由于受到一定条件的限制,单片机的存储容量有限,输入/输出接口简单,功能相对较弱。尽管如此,由于单片机的价格低廉,因而被广泛应用到制造业、过程控制、通信、汽车、船舶、仪器仪表、航空航天、军事装备、家用电器等各个行业当中,其发展非常迅速。

一般而言,微型计算机与巨型计算机、大型计算机、中型计算机、小型计算机的主要区别是:微型计算机将逻辑运算单元、控制单元和存储单元高度集成在一小片硅片上面,人们把它称为中央处理单元或中央处理器(Central Processing Unit, CPU);而巨、大、中、小型计算机的中央处理器(CPU)没有集成在一块硅片上面,而是由相当多的非常复杂的电路组成的,体积庞大又很笨重。为了与它们区别,微型计算机的 CPU 也可称为微处理器 MPU(Micro Processing Unit)或 Micro Processor。

微型计算机由于其体积小、性能稳定而备受人们的关注和喜爱,此外,它还具有重量



轻、价格低、可靠性高、结构灵活、应用面广、功能强、性能优越等一系列的特点,这些都使其得到了飞速的发展和广泛的应用。

1.1.2 计算机发展概况

从第一台电子计算机诞生至今,计算机虽仅有 60 多年的历史,但已经历了“四代”的变革。第一代是电子管计算机,第二代是晶体管计算机,第三代是集成电路计算机,第四代是大规模集成电路计算机。目前正在向第五代计算机——会思考的机器过渡。

1) 第一代计算机(1946—1958 年)

世界上第一台计算机是美国宾夕法尼亚大学于 1946 年研制成功的 ENIAC(电子数字积分计算机)。第一代计算机的主要特点是:硬件方面,采用电子管为基本逻辑电路元件,主存储器采用延线或磁鼓(后期采用了磁芯),外存储器采用磁带存储器,计算机体积庞大、功耗大、可靠性差、价格昂贵;软件方面,最初只能使用机器语言,编写程序、修改程序都很不方便,20 世纪 50 年代中期以后才出现了汇编语言,但仍未从根本上解决编制程序的困难,仅能用于科学计算,因而计算机应用很不普遍。但是,第一代计算机所采用的基本技术(采用二进制、存储程序控制的方法)却为现代计算机技术的发展奠定了坚实的理论基础。

2) 第二代计算机(1958—1964 年)

第二代计算机也称为晶体管计算机,其主要特点是:硬件方面,采用晶体管为基本逻辑电路元件,主存储器全部采用磁芯存储器,外存储器采用磁鼓和磁带,计算机的系统结构也从第一代的以运算器为中心改为以存储器为中心,从而使得计算机的运算速度提高、体积减小、功耗降低、可靠性增强;软件方面,创立了一系列高级程序设计语言,并且提出了多道程序设计、并行处理和可变的微程序设计思想。从此,计算机的应用也从单一的科学计算发展到了数据、事务管理和过程控制。

3) 第三代计算机(1964—1971 年)

第三代计算机也称为集成电路计算机,其主要特点是:硬件方面,计算机主要逻辑部件采用中、小规模集成电路,主存储器从磁芯存储器逐步过渡到了半导体存储器,使得计算机的体积进一步缩小,运算速度、运算精度、存储容量以及可靠性等主要性能指标大为改善;软件方面,对计算机程序设计语言进行了标准化,并提出了计算机结构化程序设计思想。此外,第三代计算机在产品的系列化、计算机系统之间的通信方面都得到了较大发展,计算机的应用领域和普及程度有了飞速的发展。

4) 第四代计算机(1971 年至今)

第四代计算机进入了超大规模集成电路计算机时代。其主要特点是:硬件方面,计算机逻辑部件由大规模和超大规模集成电路组成,主存储器采用半导体存储器,提供虚拟能力,计算机外围设备多样化、系列化;软件方面,实现了软件固化技术,出现了面向对象的计算机程序设计思想,并广泛采用了数据库技术、计算机网络技术。其发展过程中最重要的成就之一表现在微处理器(Micro Processor)技术上。微处理器是一种超小型化的电子器件,它把计算机的运算器、控制器等核心部件集成在一个集成电路芯片上。微处理器的出现为微型计算机的诞生奠定了基础。



5) 计算机的发展趋势

随着大规模、超大规模集成电路的广泛应用,计算机在存储容量、运算速度和可靠性等方面都得到了很大的提高。在科学技术日新月异的今天,各种新的器件不断出现,人们正试图用光电子元件、超导电子元件、生物电子元件等来代替传统的电子元件,制造出在某种程度上具有模仿人的学习、记忆、联想和推理等功能的新一代计算机系统。计算机系统正朝着巨型化、微型化、网络化和智能化等方向深入发展。

1.1.3 单片机发展概述

从 20 世纪 70 年代起,微处理器的发展开始形成两大分支。一类是个人计算机(简称 PC 机),以 Intel 公司生产的 8086、80286、80386、80486、80586、奔腾 II~奔腾 IV 为代表,可满足海量数据的高速运算,其数据宽度不断提高,从 8 位、16 位到 32 位、64 位。另一类是嵌入式微处理器或嵌入式微控制器,也称为单片机。目前,单片机内部一般都以某种微处理器内核为核心,集成 ROM/EPROM、E²PROM、Flash、RAM、总线、总线逻辑、定时器/计数器、WatchDog、I/O 口、脉宽调制输出、A/D 转换器、D/A 转换器等各种必要功能和外设,广泛应用于工业控制系统、智能仪表、智能通信产品、智能家用电器、智能终端设备等许多领域内,比较具有代表性的通用系列有 MCS-51 系列、TMS320 系列、ARM 系列等。

单片机的发展大致可分为以下四个阶段:

(1) 单片机的初级阶段。这个阶段的单片机主要以 Intel 公司的 MCS-48 为代表,属于无串行口的低档 8 位单片机。

(2) 单片机的完善阶段。以 Intel 公司的 MCS-51、Motorola 公司的 68HC05 为代表,属于 8 位单片机的高性能发展阶段,这时的单片机片内带有串行通信口、中断处理系统、定时器/计数器,片内的 ROM、RAM 容量增大,增加了 A/D 转换功能。由于其功能强大,因而得到了广泛的应用。

(3) 8 位单片机向 16 位单片机的过渡。此时虽然 Intel 公司推出了 16 位的 MCS-96 系列单片机,但因其价格较高,使得具有更高性价比的 MCS-51 系列 8 位单片机得到了更加广泛的应用,广大科技开发者竞相使用它来开发工业控制系统,使 8 位单片机得到了进一步的巩固和发展,也使 8 位单片机占据了大部分的市场。

(4) 全面发展阶段。随着单片机在各个领域的深入发展和人们对自动控制系统的要求不断提高,具有高速、大寻址范围、更强的运算能力的 8 位/16 位/32 位通用型单片机以及小型廉价的专用型单片机层出不穷,各大电器、半导体制造商纷纷推出自己开发的产品,出现了单片机全面发展的阶段。

单片机在我国的应用也非常广泛,从最初的 MCS-51 系列的 8031 芯片到 MCS-96 系列的 8098 芯片,还有各大半导体厂商推出的各种类型和性能的单片机,如 DSP 微处理器、ARM 系列单片机及 PIC 系列单片机。用户根据不同的测控对象、不同的环境可选择使用不同型号和功能的单片机。美国 Microchip 公司的 PIC 系列 CMOS 8 位单片机就是一种能够代表单片机发展方向的新型单片机。PIC 系列单片机采用精简指令集 RISC、CMOS 工艺制造,它所具有的低功耗、较强负载能力的 I/O 口、看门狗、程序保密位及低价格等特点,



使其市场份额逐年提高。

1991 年, ARM 公司在英国剑桥大学成立, 主要出售芯片设计技术的授权。目前, 采用 ARM 技术知识产权(IP)核的微处理器, 即我们通常所说的 ARM 微处理器, 已遍及工业控制、消费类电子产品、通信系统、网络系统、无线系统等各类产品市场, 基于 ARM 技术的微处理器应用约占据了 32 位 RISC 微处理器 75% 以上的市场份额, ARM 技术正在逐步渗入到我们生活的各个方面。

从开发及用户应用的不同角度来看, 单片机大致可分为以下几类。

(1) 按用途可以分为通用型和专用型。所谓通用和专用, 是指单片机的应用范围。如 MCS-51 系列的 80C51 单片机就属于通用型, 它不是专门给某个产品设计的, 它可以应用到任何自动控制的系统中去。通用型单片机的用途很广泛, 使用不同的接口电路及编制不同的应用程序就可完成不同的功能。小到家用电器、仪器仪表, 大到机器设备和整套生产线都可用单片机来实现自动化控制。

专用型单片机是指用途比较专一, 出厂时程序已经一次性固化好, 不能再修改的单片机。例如电子表里的单片机就是其中的一种, 其生产成本很低。

(2) 按总线结构可以分为总线型和非总线型。总线型单片机是指单片机设有并行总线, 例如 89C51 单片机就是总线结构, 在其内部设有数据总线、地址总线、控制总线。通过这些总线可扩展并行外围器件。而非总线型单片机是指单片机通过串行口与外围器件连接, 或直接把外围器件、外设接口集成在片内。例如 20 引脚的 89C2051 单片机就是一种非总线型单片机, 其外部引脚与 89C51 相比减少了一半, 这样可以降低成本。

(3) 按指令结构可以分为 CISC 单片机和 RISC 单片机。我们所熟悉的 Intel 系列 CPU 就是 CISC 型 CPU 的典型代表。CISC 就是“复杂指令集计算机”的意思。随着大规模集成电路技术的发展, 计算机的硬件成本不断下降, 软件成本不断提高, 使得指令系统增加了更多更复杂的指令, 以提高操作系统的效率。另外, 同一系列的新型机对其指令系统只能扩充而不能减去旧型机的任意一条, 以达到程序兼容。这样一来, 指令系统越来越复杂, 有的计算机指令甚至达到数百条。人们就称这种计算机为 CISC(Complex Instruction Set Computer)。如 IBM 公司的大、中型计算机, Intel 公司的 8086、80286、80386 微处理器等都属于 CISC 单片机。日益庞大的指令系统不仅使计算机的研制周期变长, 而且还有难以调试、难以维护等一些自身无法克服的缺点。

RISC 是英文 Reduced Instruction Set Computer 的缩写, 汉语意思为“精简指令集计算机”。精简指令集计算机(RISC)指令全部使用单字节指令, 除了涉及 PC 值改变的指令(如跳转指令等)外, 其余都是单周期指令, 这样可以提高软件的运行速度。例如 PIC 系列单片机都采用的是 RISC 指令。

(4) 按单片机内部的程序存储器的类型可以分为 OTPROM 型、EPROM 型、E²PROM 型和 Flash ROM 型。单片机内部设有容量一定的程序存储器来存放软件指令, 如容量不够可以进行外部扩展。片内的程序存储器的种类有以下几种: Mask ROM、OTPROM、EPROM、E²PROM 和 Flash ROM。其中, Mask ROM 和 OTPROM 只适用于成熟产品的大批量生产; 而带可擦写的 EPROM 或 Flash ROM 的单片机适用于在开发阶段的初期产品或中小批量产品的生产。EPROM 由于需要紫外线擦除, 给用户带来了不便, 采用电改写的 E²PROM 后, 不需要紫外线擦除, 只需重新写入。特别是在常压 5 V 下读写的 E²PROM, 既有静态 RAM



读写操作简便, 又有数据不会丢失的优点。因此, 有的单片机将它作为片内 RAM 使用, 甚至有的单片机将 E²PROM 用作片内通用寄存器。

1.1.4 单片机的特点和应用

单片机自问世以来以其集成度高、体积小、功能齐全、可扩展的优势应用在各行各业当中。单片机与微处理器不同, 微处理器向着高速运算、越来越强的数据分析与处理能力、大容量存储等方向发展, 以提高通用计算机的性能, 其接口界面也是为了满足外设和网络接口而设计的。单片机则是从工业测控对象、环境、接口特点出发, 向着增强控制功能、提高工业环境下的可靠性、灵活方便地构成应用计算机系统的界面接口的方向发展。因此, 单片机具有以下特点。

(1) 品种多样, 型号繁多。世界上各大芯片制造公司都推出了自己的单片机, 从 8 位、16 位到 32 位, 数不胜数, 应有尽有, 有与主流 Cx51 系列兼容的, 也有不兼容的, 它们各具特色, 有些单片机已经采用精简指令集(RIS)技术, 为单片机的应用提供了广阔的天地。

(2) 有较高的性能价格比。目前国内市场上销售的单片机的价格每个大多只有几元人民币。利用这样的单片机再加上外围扩展的元件, 就可以构成功能相当齐全的智能自动化控制系统。

(3) 可扩展性强, 可以构成各种规模的应用系统, 控制能力强。单片机的逻辑控制功能也很强, 指令系统丰富, 可以实现各种控制功能, 并且可以构成多机和分布式控制系统。

(4) 小巧灵活、成本低、易于产品化, 能够适用于各种智能型自动控制系统中。单片机的工作频率可达到 30 MHz 甚至 40 MHz, 指令执行周期减到数十微秒, 存储器 RAM 的容量发展到 1 KB、2 KB, ROM 发展到 32 KB、64 KB。

(5) 低功耗。供电电压从 5 V 降到 3 V、2 V, 甚至 1 V 左右。工作电流从毫安级降到微安级。在生产工艺上以 CMOS 代替 NMOS, 并向 HCMOS 过渡。

(6) 可靠性好, 适应温度范围宽。单片机芯片是按工业测控环境要求设计的, 能适应各种恶劣的环境, 这是其它机种无法比拟的。

(7) 应用软件配套。单片机提供了软件库, 包括标准应用软件, 示范设计方法, 使用户开发单片机应用系统时更快速、方便, 使一周时间开发一个新的应用产品成为可能。

单片机鉴于上述的七大特点, 得到了非常广泛的应用, 包括单片机单机应用和多机应用。

单片机单机应用在智能化家用电器、智能化仪器仪表、智能化工业测控系统、通信产品、汽车电子产品、航空航天系统、军事国防等各行各业中。

单片机多机应用系统可分为功能弥散系统、并行多机处理系统以及局部网络系统。

1.1.5 单片机技术的发展趋势

纵观单片机的发展过程, 可以预示单片机的发展趋势大致有以下几个。

1. 低功耗、CMOS 化

MCS-51 系列的 8031 单片机, 其推出时的功耗达 630 mW, 而现在的单片机的功耗普遍都在 100 mW 左右, 随着对单片机功耗要求越来越低, 现在的各个单片机制造商基本都



采用了 CMOS(互补金属氧化物半导体工艺)。80C51 就采用了 HMOS(即高密度金属氧化物半导体工艺)和 CHMOS(互补高密度金属氧化物半导体工艺)。CMOS 虽然功耗较低,但其物理特征决定其工作速度较慢;而 CHMOS 则具备了高速和低功耗的特点,这些特征更适合于在要求低功耗(如电池供电)的应用场合。所以采用这种工艺将是今后一段时期单片机的主要发展方向。

2. 微型单片化

现在常规的单片机普遍都是将中央处理器(CPU)、随机存取数据存储器(RAM)、只读程序存储器(ROM)、并行和串行通信接口、中断系统、定时电路、时钟电路集成在一块单一的芯片上,增强型的单片机还集成了 A/D 转换器、PMW(脉宽调制电路)、WDT(看门狗)等,有些单片机将 LCD(液晶)驱动电路都集成在单一的芯片上,这样单片机包含的单元电路就更多,功能就更强大。单片机厂商还可以根据用户的要求量身定做,制造出具有自己特色的单片机芯片。

此外,现在的产品普遍要求体积小、重量轻,这就使得单片机除了功能强和功耗低外,还要求其体积小。现在的许多单片机都具有多种封装形式,其中 SMD(表面封装)越来越受欢迎,使得由单片机构成的系统正朝微型化方向发展。

3. 主流与多品种共存

现在虽然单片机的品种繁多、各具特色,但以 80C51 为核心的单片机仍占主流,兼容其结构和指令系统的有 PHILIPS 公司的产品、ATMEL 公司的产品和中国台湾的 Winbond 系列单片机。而 Microchip 公司的 PIC 系列单片机也有着强劲的发展势头。中国台湾的 HOLTEK 公司近年的单片机产量与日俱增,以其价低质优的优势,占据了一定的市场分额。此外,还有 Motorola 公司的产品、日本几大公司的专用单片机。在一定的时期内,这种情形将得以延续,将不存在某个单片机垄断的局面,走的是依存互补、相辅相成、共同发展的道路。

ARM 公司是专门从事基于 RISC 技术芯片设计开发的公司,作为知识产权供应商,它本身不直接从事芯片生产,靠转让设计许可由合作公司生产各类芯片。目前,全世界有几十家大的半导体公司(包括 Intel、IBM、LG、NEC、SONY、PHILIPS 等)都使用 ARM 公司的授权,软件系统的合伙人则包括微软、升阳和 MRI 等一系列知名公司。这不仅使得 ARM 技术获得更多的第三方工具以及软件的支持,还使整个系统成本降低,从而使产品更容易进入市场被消费者所接受,更具有竞争力。

ARM 处理器的特点是:耗电少、功能强、16 位/32 位双指令集和众多合作伙伴。采用 RISC 架构的 ARM 微处理器具有如下特点:

- (1) 体积小、低功耗、低成本、高性能;
- (2) 支持 Thumb(16 位)/ARM(32 位)双指令集,能很好地兼容 8 位/16 位器件;
- (3) 大量使用寄存器,指令执行速度更快;
- (4) 大多数数据操作都在寄存器中完成;
- (5) 寻址方式灵活简单,执行效率高;
- (6) 指令长度固定。

当前 ARM 体系结构的扩充包括:Thumb, 16 位指令集,可改善代码密度;DSP, DSP



应用的算术运算指令集; Jazeller, 允许直接执行 Java 字节码。

ARM 处理器本身是 32 位设计, 但也配备 16 位指令集。ARM 的 Jazelle 技术使 Java 加速得到比基于软件的 Java 虚拟机(JVM)高得多的性能, 和同等的非 Java 加速核相比功耗降低了 80%。CPU 功能上增加 DSP 指令集, 提供增强的 16 位和 32 位算术运算能力, 提高了性能和灵活性。ARM 还提供两个前沿特性来辅助带深嵌入式处理器的高集成 SOC 器件的调试, 它们是嵌入式 ICE-RT 逻辑和嵌入式跟踪宏核(ETMS)系列。

1.2 单片机系统的组成

单片机系统由两大部分组成: 硬件部分和软件部分。硬件是物理实体, 而软件是对硬件进行管理和使用的程序。单片机的硬件系统是由单片机芯片和外部扩展的硬件设备组成的。单片机芯片包含微处理器 CPU、存储器、输入/输出及其他功能部件, 例如定时器/计数器、中断系统、A/D 转换器、D/A 转换器、串行口等。它们都是通过地址总线 AB、数据总线 DB 和控制总线 CB 连接起来的。

1.2.1 微处理器 CPU

微处理器是单片机的核心。它主要由三部分组成: 运算器、控制器和各种寄存器。

1. 运算器

运算器是在控制器的指挥下完成二进制算术运算和逻辑运算操作的装置。它由算术/逻辑运算单元 ALU、累加器 A、暂存寄存器、标志寄存器 F 等组成。

(1) 算术/逻辑运算单元 ALU: 由加法器和相应的控制逻辑电路组成。它能对来自暂存寄存器的数据进行加、减、与、或、异或等运算, 还能进行数据的移位, 并将运算的结果通过数据总线送到累加器 A, 同时影响标志寄存器 F 的状态。

(2) 累加器 A: 是一个特殊寄存器, 在运算前多用于保存运算所需的操作数, 在运算后则用于保存运算的结果。

(3) 暂存寄存器: 用来暂时存放数据总线或其他寄存器送来的操作数, 作为 ALU 的数据输入源之一。

(4) 标志寄存器 F: 用来保存 ALU 运算结果的条件标志和处理器的状态, 如进位标志、奇偶标志、溢出标志等。

2. 控制器

控制器是指挥单片机执行命令的核心, 它按一定的顺序从程序存储器中取出指令并进行正确的译码后确定要执行的操作, 发出相应的控制信号, 从而完成该指令所规定的任务。控制器主要由程序计数器 PC、定时及控制逻辑电路、指令寄存器 IR 及指令译码器 ID 组成。

(1) 程序计数器 PC: 有时也可以称之为指令地址计数器。程序计数器 PC 里的数据是当前要执行的指令的地址。单片机就是按照程序计数器 PC 的地址从程序存储器里读取相应地址的存储单元中的指令码或数据的。程序计数器 PC 的位数决定了单片机所能寻址的存储器空间。



(2) 定时及控制逻辑电路: 单片机的核心部分, 可以将其分为定时和微操作两部分。它可以定时产生脉冲序列、节拍脉冲以及指令操作所需的控制脉冲信号。

(3) 指令寄存器 IR: 用来保存当前正在执行的一条指令。一条完整的指令内容包括操作码和地址码两部分。操作码送到指令译码器 ID, 经译码后确定要执行的操作。地址码经指定的部件形成真正的操作数地址。

(4) 指令译码器 ID: 用来分析指令操作的部件。从程序存储器中取出的指令码经过它翻译后产生相应于某一特定操作的信号。

1.2.2 存储器

存储器是用来存放程序和数据的器件, 它由若干存储单元组成, 每个存储单元都有一个唯一的编号, 称为存储地址。

存储器从不同的角度可以划分为不同的种类。

按照位置的不同, 存储器可以分为内存储器和外存储器。内存储器在单片机的芯片内部, 用于存放当前运行的程序和所需的数据。一般情况下, 内存储器的容量较小, 但存取速度快。外存储器设在单片机的外部, 用于存放大量暂时不能直接参与运算的程序和数据, 需要时可以将这些程序和数据及时地传送到内存储器。外存储器的容量大, 但存取速度较慢。

按照存取方式的不同, 存储器可以分为随机存取存储器(RAM)和只读存储器(ROM)两大类。

1. RAM

RAM 主要用来存放各种数据。它的主要优点是可以随机写入或读出, 读写速度快, 读写方便; 缺点是电源断电后存储的信息就会丢失, 而且也不能恢复。

2. ROM

按照写入方式的不同, ROM 又可以分为 Mask ROM、OTPROM、EPROM、EEPROM (E²PROM) 和 Flash ROM。

(1) Mask ROM。它又称掩膜型只读 ROM。这种 ROM 中存放的内容是由生产芯片的厂家在制作芯片的同时一次性写入的, 它的成本比较低。

(2) OTPROM(One Time Programmable ROM)。用户在使用时只能一次性将数据烧写到芯片内部, 一旦数据被写入, 就不能修改。因此我们常常把这种芯片叫做一次性可编程只读存储器。

(3) EPROM(Erasable Programmable ROM)。这种芯片也可以称为可擦写只读存储器, 它必须用专用的 EPROM 编程器来写入, 根据需要可以随时进行改写。当需要改写时, 先要擦除原有的内容, 将需擦写的芯片放入紫外线擦除器内就可以了。烧写完毕的芯片在使用的时候需用黑色的不干胶纸盖住芯片上方的石英玻璃窗, 以防止阳光直射。

(4) EEPROM(Electrically Erasable Programmable ROM)。这种芯片也可以称为电可擦可编程只读存储器。它的功能及使用方式与 EPROM 一样, 不同之处是擦除芯片内的数据的方式, 它是以约 20 V 的电压来擦除数据的, 也就是说必须给这种芯片通电才能擦除数据。另外, 它还可以用电信号进行数据写入。这类 ROM 多应用于即插即用的接口中。它的性能比 EPROM 更优越, 但价格较高。



(5) Flash Memory。这种芯片也称为快闪存储器。它是一种可以直接在主机板上修改内容而不需要将芯片拔下来的内存,当电源关掉后存储在里面的资料并不会消失。在写入数据时必须先将原来的数据清除掉,然后才能再写入新的数据。其缺点是写入数据的速度太慢,但价格低并可以多次擦写,所以近年来应用也很广泛。

1.2.3 输入/输出设备及其接口电路

输入/输出接口电路是单片机与输入/输出设备交换数据的通道和桥梁。单片机执行一条指令的时间约为 $1\sim 2\mu\text{s}$,而输入/输出设备的种类繁多,数据传输速度有快有慢,信号形式及电平也不一样,这时必须由输入/输出接口电路进行速度的匹配和转换。

输入/输出接口电路的基本功能是对输出数据的锁存和对输入数据的缓冲。常用的单片机输入/输出接口电路芯片有 8255、8155、8279、0809、0832 等。

1.2.4 单片机系统的软件

单片机应用系统要完成一定的测控功能,除了要具备完整的硬件系统以外,还要具备完善的软件。软件就是各种指令按照某种特定的规律组合形成的程序。软件设计和程序设计任务就是利用计算机语言对系统预期达到的功能进行描述和规定。

目前,单片机程序设计语言可分为三类:机器语言、汇编语言、高级语言。

(1) 机器语言。用二进制编码表示的指令称为机器指令,用机器指令编写的程序称为机器语言程序。它是能被单片机快速识别和快速执行的唯一语言。但是机器语言无明显特征,不好记忆和理解,编制程序比较困难,易于出错。

(2) 汇编语言。汇编语言利用英文单词的缩写字母代替难以记忆的机器码的语言,它与机器语言相比更便于记忆和理解,能提高编程效率。因此,汇编语言是面向机器的程序设计语言,在不同的计算机上没有通用性。

(3) 高级语言。高级语言又称为算法语言,它接近人们习惯的自然语言和数学语言。C语言是目前普遍采用的单片机语言。用高级语言编写程序类似用英语单词和数学公式写解题步骤,简短明了又易于查错和修改。高级语言具有较好的通用性。

1.3 单片机中数的表示方法及运算

计算机主要是用来进行快速运算和加工处理的,人们习惯使用的数制是十进制,而计算机中采用的数制是二进制,所以,二进制数及其编码是所有计算机的基本语言。除二进制数外,为了便于书写,人们也常常采用八进制数和十六进制数。为了避免数制间的混淆,可在数字的后面加区分符,区分符可以用字母来表示。其中,二进制数的区分符为字母 B,十进制数的区分符为字母 D(或不用区分符),八进制数的区分符为字母 Q,十六进制数的区分符为字母 H。由于二进制数的位数较多、书写不便,在单片机进行软件编制过程中,经常要使用十六进制数。因此,十进制数、二进制数、十六进制数之间的转换规律和运算是学习单片机原理与控制技术的必备知识。